

幾十年來，天文學家用盡腦筋，以最先進儀器在宇宙搜索生物存在的證據。儘管最近相繼發現火星和少數太陽系行星的衛星上有冰和有機分子的存在，到現在從任何人類觀察得到的星球還沒有找到生物的痕跡。

生物非常脆弱，只能在狹窄物理化學條件下才能生存。地球表面有生物是非常偶然的事，地球剛好位於太陽系的可居住帶，亦即離太陽的距離剛好使地球表面溫度適中，且地心引力可形成氣壓適合生物生存的大氣層（圖一）。地球還有月球，它扮演穩定地球軌道的角色，使地球表面溫度與氣壓不至於因軌道不穩定而大幅度變動。這些條件也使地球在彗星靠近時，能用其地心引力吸取不少冰塊和水氣，加上隕石帶來的水分凝聚成海洋和湖泊，風雨製造大氣的對流，大氣中含有氫、碳與氧等元素，加上空中的閃電、水分和岩石表面催化作用加速了生物的形成。



圖一、從阿波羅17照到的地球影像，宇宙中唯有地球有這麼豐富多樣的大氣，得以孕育無數生物。

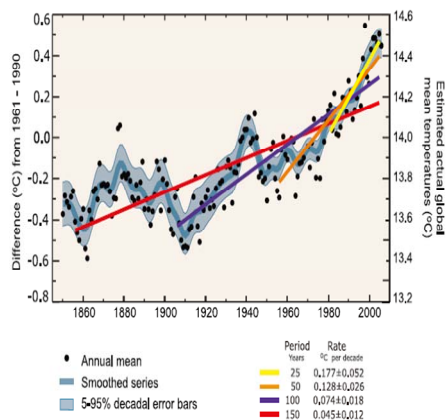
生命有三要素：陽光提供生物成長所需能量，水與空氣維持生命。事實上生命要素不限於三種，地球帶磁場，磁場在地球外太空形成泛亞倫帶，是宇宙線中帶電粒子的陷阱，地面生物才不至於被高能帶電粒子的不斷轟擊。大氣除了以氣體對流製造滋潤大地的風雨外，雲層和溫室氣體會吸收和反射陽光，可調節地球表面溫度，使地球表面條件剛好適合生物生存。

大氣的厚度只有地球半徑（6373 公里）的約 0.2%（12 公里），這層薄薄的大氣層有微調地球表面溫度的作用。大氣科學家推算如果不是大氣中存在著 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等自然界的溫室氣體，地球表面平均溫度就不是現在的攝氏 14 度，而是攝氏 -16 度，然則全球會被冰雪覆蓋，不適宜生物繁殖與生存。自然界產生的溫室氣體，在大氣中把部分地球輻射出去的紅外光吸收，再部分輻射回地面，使地面溫度升高 30 度。

1、地球表面暖化現象

冷熱的感覺是人類與生俱來的生理機能，但是科學家有溫度的概念只有三四百年歷史，直接量測地面平均溫度的歷史更短，古代數據可靠性也不高。利用氣體或液體的膨脹係數鑑定溫度只能用在定點測量上，光譜測定溫度則可用在衛星的大面積偵測，是地面溫度測量的利器。除了直接量測，地面平均溫度也可用間接方法加以推測，樹木的年輪、冰河長度的伸縮，湖底和海底的藻類和微生物沈積物分析，和極地開採冰柱分析等便是例子。科學家

根據不同直接與間接量測方法發現，一百六十年來地球表面平均溫度雖然有幅度約正負 0.2 度的變動，但有非常明顯且穩定的上升趨勢，這期間地面平均溫度增高了攝氏 0.85 度，而且增高率越來越快（圖二），而這些年與人類大量使用石化能源的時期剛好吻合。



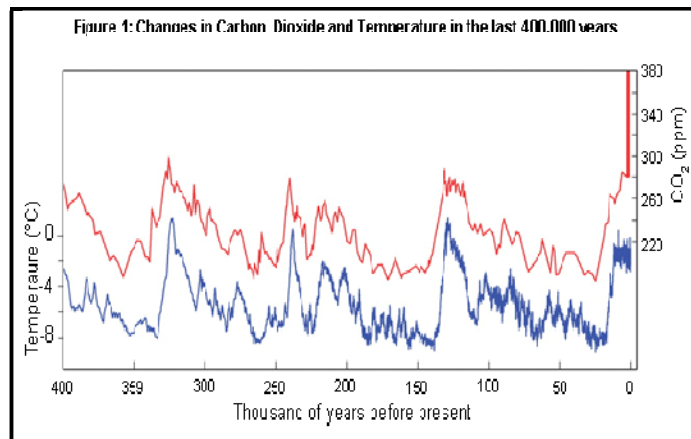
圖二、用直接與間接方法量測所得，一百五十多年來地球表面的平均溫度。雖然溫度有約正負0.2度的自然變動，穩定增高趨勢非常明顯，而且溫度上升速率越來越快。

地球表面暖化最容易從冰雪的融化快慢看出，最近南北極海上冰島破碎和南極與格林蘭地上覆蓋冰層融化之快，令氣候學家膽戰心驚。極地本來覆蓋冰雪，陽光反射率超過 90%，當海上的冰島融化成海水，陽光吸收率增加到 90% 左右，加速了冰雪的融化；加上海流帶來溫水，兩極溫度增加速度超過地球其他地方。各地冰河和冰雪覆蓋面積也快速萎縮，造成幾十年來海平面平均上升 0.3 公尺，有些地方上升似乎更大，使低窪國家如孟加拉和小島嶼被淹沒或受威脅。海水溫度上升，水蒸氣蒸發加快，雨量增加，颱風、颶風、暴風雨頻繁且加劇，紐奧良（New Orleans）海堤崩潰，整個都市淹沒水中，地球很多地方如非洲各地卻嚴重乾旱，在非洲本來世界第六大湖，供應四個國家兩千多萬居民用水的 Lake Chad，在短短四十年幾乎乾涸，湖面積只剩下 10%，世界很多其他地方湖泊水位也相繼下降，甚至於消失。

1.1、溫室氣體與溫室效應

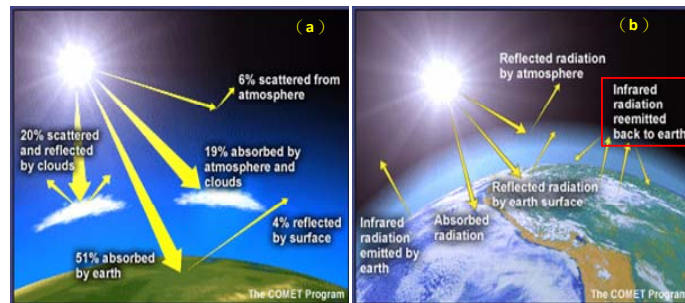
透過直接（如利用高空氣球）與間接量測，氣候學家也發現大氣中溫室氣體的含量在短短兩百多年急速升高（圖三）。南極開採冰柱數據顯示，數十萬年來大氣中溫室氣體含量都在某一範圍內變動，例如 CO₂ 的含量在百萬分之 200 到 280 間變動，地球溫度也有幅度約攝氏 8 度的同相位變動，地球經歷多次冰凍期與暖化期，這些自然變動週期約為十萬年。令氣候學家憂慮的是一百多年來大氣溫室氣體含量突然大幅度上升，以 CO₂ 為例，含量從百萬分之 280 跳高到 385，而且如上段所描述，地球表面平均溫度也有不斷上升的趨勢。

主流科學家根據溫室效應理論，認為地球表面平均溫度的上升原因在於大氣溫室氣體含量的突然增加，而含量增加的原因在於人類產業革命後，兩百多年來石化能源（或稱化石能源，即煤炭、石油和天然氣）的大量使用，這似乎難於想像的推論只要我們把產業革命後人類使用石化能源的總量稍做統計就不難理解。以 2005 年為例，全球燃燒了 4.5 兆公斤石油，5 兆公斤煤炭和 26 億立方米天然氣，而且燃燒這些石化能源所排放溫室氣體會滯留大氣層 30 至 100 年，人類活動造成地球表面大氣層溫室氣體突然增加應無疑義。



圖三、南極開採冰柱顯示四十萬年來地球大氣中二氧化碳含量（紅色）和地面平均溫度（藍色）的變化情形。除了週期約十萬年的大幅度自然變動外，科學家驚奇的發現一百多年來，二氧化碳含量突然從280 ppm跳到384 ppm。

什麼是溫室效應，如圖四所示，太陽在赤道正中午，輻射到地球表面的能量約為每平方公尺 1370 瓦特，其中有 49% 被大氣雲層等所吸收或反射回太空，51% 到達地面，其中 4% 又被地面反射回大氣。考慮到不同地點與時間輻射線角度和日夜的變化，全球地面平均被照射的太陽能量為每平方公尺 168 瓦特。4% 被反射回大氣的紅外光，被大氣中自然溫室氣體吸收後又部分輻射回地面，使地面平均溫度得以保持在攝氏 14 度。科學家計算，因人類活動增加的溫室氣體足以使反射回地面的能量，每平方公尺增加 1.6 瓦特，而這正是造成人為地球表面暖化的原因。



圖四、(a) 陽光到達地球大氣層，有部分被吸收、散射和反射。(b) 紅色框框說明地面輻射出來的紅外線先被大氣中溫室氣體吸收，之後部分照射回地面，這就是地面溫室效應。

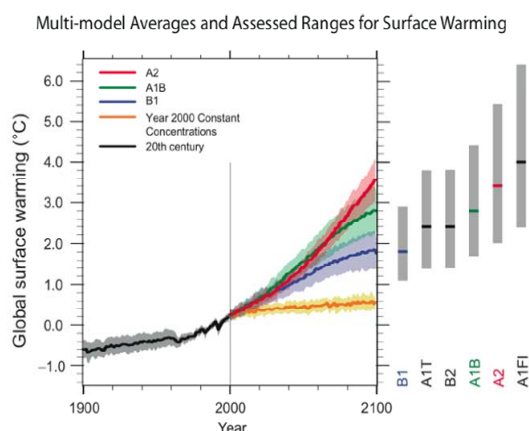
我們必須指出人為溫室氣體產生的溫室效應造成地面暖化理論並沒有獲得科學家一致的支持，非主流科學家質疑地面暖化是否真的是因人為溫室氣體所導致，對此高爾強調一千篇專業論文沒有一篇對地面暖化現象提出異議。其實非主流科學家質疑的是溫室效應理論的正確性，如果理論正確為何地面溫度沒有像幾十萬年來溫度與溫室氣體含量所呈現的高度正相關性必有的極大幅度變動。對此主流科學家的解釋是地球熱容量太大，溫度上升可能延遲幾十年或甚至於幾百年。非主流科學家提出不少解釋，有的值得討論，有的倒因為果，令人無法置信。有人認為地面溫度上升來自自然變動，而大氣溫室氣體含量大幅增加則來自海水因溫度上升釋放出來的溫室氣體。這種推論倒因為果，違背幾十萬年來 8 度溫度變化並沒有產生異常大幅度溫室氣體含量變動的冰柱數據。

石化能源的大量使用不只排放大量污染和溫室氣體，也釋放大量熱能。估計每年全球因空氣和水污染致病死亡人數達數十萬人，但精確數字難於估計，而溫室氣體導致地面暖化將造成何種後果則將在下節討論。我們都知道大

都市因為能量使用密度高，平均氣溫比鄉下高出兩三度，這就是所謂的熱島效應；當都市數目逐漸增加，高人口密度面積逐漸綿延，排放熱量擴散到各地，不可能不造成地面平均溫度的上升。到底這些熱量是否足以使地面暖化，就要看熱量能滯留地面多長時間，科學家估計人造溫室氣體可以滯留大氣三十至一百年，也就是說這些氣體造成效應有累積作用。筆者沒有查到地面熱能散失所需時間，但只要長過四五十天，這些釋放熱量足以使地面增加每平方公尺近一瓦特的熱能，然則熱島效應將與溫室氣體效應相當。另一有趣數字是人類使用石化能源，平均每每人所釋放熱能是他每天攝取食物熱量（約 2500 大卡）的 30 倍。台灣製造業發達，人口平均所消耗能量約為全球平均值的三倍，也就是比攝取食物熱量大出約 100 倍。

高爾指責非主流科學家都來自石化公司和政府研發機構，他們為了不違背服務機構的既定政策，不得不妥協研究成果所做結論，筆者認為這種指責並不完全正確。因為有不少不支持主流理論的科學家是來自世界知名大學如 MIT、哈佛、劍橋等校的知名學者。這個爭議要徹底解決，氣候學家恐怕得先解釋，為什麼幾十萬年來地球表面溫度和溫室氣體含量有如此大幅度的週期性變動，而且兩者具有高度的關連性。這個現象現有理論解釋類似兩百多年來人造溫室效應導致地面暖化的理論，充滿不確定性與爭議。

1.2、地面暖化可能造成後果



圖五、根據不同全球經濟發展模式，電腦模擬預測地面溫度在2100年將上升攝氏2至4度。如果人造溫室氣體含量上升速率不變，則地面溫度增加較緩，如最下面曲線所示。

科學家根據全球經濟發展可能不同情況所會製造溫室氣體數量做電腦模擬，預測本世紀末地面溫度將上升攝氏 2-4 度（圖五），而且只要 CO₂ 含量超過 450 ppm（百萬分之一），大災難將無法避免。地球暖化的後果報章雜誌報導最多，高爾的影片也有極詳盡的描述，這裡不再細述。很多預測合理，但也有不少地方有危言聳聽之嫌，例如把 SARS 和禽流感歸罪於地面暖化和夏天病例減少的事實背道而馳。當然地面暖化會造成很多物種的絕滅，但是久而久之新物種也會誕生，的確超可愛的北極熊和南極企鵝可能會從地球消失，但誰又能預測更加可愛的新物種不會誕生。沒有疑問的是農漁業會受到嚴重影響，人口分佈也會重新調整，人口會遷離乾旱地區而往加拿大北部和西伯利亞遷移。北極西北航道可能敞開，節省太平洋和大西洋間航線距離近萬公里。其實重點不在人類能否適應新地球環境，而在於環境的改變速率是否太快，因新物種的進化過於緩慢和新菌種演變太快，人類來不及因應而造成大災難。最令人擔心的倒是格林蘭和南極地上覆蓋冰山融化速度之快超過科學家預料，如果這些冰山如預測在短短五十年內完全融化，海平面將上升十多公尺，到時世界海港都將成為現代威尼斯，而荷蘭與孟加拉和很多國家低窪地區都將成水鄉澤國，這些龐大人口的遷移，有可能不造成世界性龐大難民災難和土地爭奪衝突嗎。

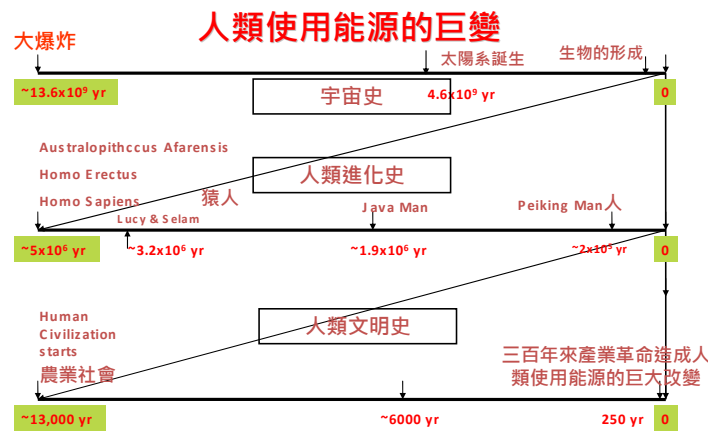
兩百年來地面溫度有攝氏 0.85 度上升是不爭事實，這是否只是自然短暫的變動，或意味著即將來臨的因龐大地球熱容量造成延遲的地面溫度的大幅度上升，我們也只能由時間來驗證。其實不管誰對誰錯，未雨綢繆總是最佳策略。自然類似生物具有生命，生命的存在有點偶然，因此我們更要珍惜。地球維護著生命，而且只有一個，為了生命的永續，我們不管對人、動植物或自然都要惜福與惜緣，和平相處並互相尊重與愛護，不能因為科學家在地面暖化理論上仍有爭議就不主動採取因應措施。

2、能源使用策略

2.1、人類使用能源的巨變

能量是現代社會人類活動的原動力，能源左右著人類經濟發展與生活方式，如果說物質文明是人類的持續新能源的發掘與其衍生生產技術的開發也不言過其實。從現實面看，1973 年世界石油生產國首次瞭解到他們手中握有與西方國家談判的條件，開始控制石油產量與價格，造成全球的石油危機，不只全世界物價不斷上漲，股市下跌，經濟也在二次世界大戰後首次陷入嚴重蕭條。台灣人口密度高居世界第二位，自然資源，尤其是能源異常缺乏，經濟主要依賴製造業，能源進口達 98%，制訂健全的能源政策，節約和持續與穩定供應能源，攸關民生、政經與國家發展。

觀看人類進化史（圖六），在產業革命前使用能源幾乎百分百來自再生能源，動力來自水力、風力、人力和獸力，熱量則來自燃燒動植物、木炭和油脂；雖然四千多年前埃及和古中國已經知道使用煤炭、石油與自然氣，但用量微不足道。兩百多年前產業革命以來，人類使用能源有 180 度的轉變，從百分百再生能源轉變為百分百石化能源（又稱化石能源，亦即石油、煤炭與天然氣）與替代能源如核能等，後者只佔有電力的約 20%。這些能源應用在引擎、馬達、家熱與家電和照明等，而石化能源正是人造溫室氣體的主要來源，也是主流氣候學家認為人為地面暖化的主因。



圖六、產業革命前人類使用動力主要來自水力、風力、人力與獸力，熱量則來自燃燒動植物、木炭和油脂，這些全部是再生能源，只用很少量石化能源。現代使用能源主要為石化能源，亦即煤炭、石油和天然氣，用來發電、運轉引擎、馬達和家熱、電與照明。使用石化能源是人造二氧化碳和其他溫室氣體的主要來源。

2.2、主要再生能源

從基本物理觀點，不管石化能源或再生能源都源自太陽能，只是時間常數（relaxation time）非常不同而已。前者在幾百萬年前已經形成，大氣成分和地面溫度的變動都已因達到準平衡狀態而消失。兩百年來在短時間內大量使用石化能源，所排放的溫室氣體與熱能會破壞地面的平衡狀態。再生能源如動植物的成長與產品的製造與燃燒，氣體與熱量的循環的時間常數一般不超過一年，比起溫室氣體和熱能的消散時間常數短得多，所以其使用不會產生氣候性的地面溫度與氣體含量的失衡。

再生能源種類繁多，不勝枚舉，美國能源局支持再生能源研發計畫就有：生質酒精、生質柴油、太陽熱與電、風能、二氧化碳回收與深埋技術、光合作用綠藻植物的培植，氫氣經濟與燃料電池科技，海浪與海流利用等。替代能源也是應有盡有，各種核能、海潮能、地熱能等；深海可燃碳氫化合物的探測與開採只能算是另一種石化能源。有趣的是不管是哪一種新能源，計畫主持人都堅持在二三十年內，他們研究的能源市場佔有率將達 5% 左右，事實上除了幾種被看好的能源，其他新能源只要在這期間達到市場佔有率的 1% 已經算是非常成功。在此我們僅描述一般被看好的再生能源，還有我們在報章雜誌或政府報告經常看到的是有如天文數字的新能源總能量，以便強調該能源的重要性。其實民眾對這些天文數字很難有具體觀念，天大的瓦特數常會誤導民眾對某一能源相對重要性的認知。所以我們將以市場佔有率和使用率代表，佔有率才是真正代表某種能源重要性的指標。

生質燃料：生質能包括生質乙醇（酒精）、生質柴油、木炭、和動植物廢棄物再利用等。乙醇可釀造自甘蔗、玉米、蕃薯和特殊草類植物的枝幹纖維。世界上最早成功發展酒精燃料的國家是巴西，1973 年全球石油恐慌時他們就已開始推動甘蔗酒精釀造工業，現在巴西國內生產汽車的引擎業經微調，可使用百分百酒精，酒精取代率也已達 30%。美國和台灣則把精力放在玉米和蕃薯釀造酒精技術上，問題是沒有節制種植乙醇作物，不但耗費大量人造肥料和耕地，土地瘦瘠問題也接踵而至。不管是用哪種作物釀造酒精，我們都需要仔細計算所生產能量與所消耗能量的比值，亦即輸出與輸入能量比是否真正大於一，如果小於一，精力便是白費。不同科學家提出數據相差太大，以玉米酒精為例，康乃爾大學科學家認為比值小於一，美國阿岡國家實驗室科學家則認為遠大於一，到現在專家意見常受計畫主持人的偏見影響，莫衷一是，讓我們無所適從。現在美國生質酒精價格已經可以和汽油競爭，但部分原因來自政府對農民和汽車使用者的大量補助。只有生產與使用酒精都沒有政府補助時，生產成本便能粗略反映出比值，但這種自然淘汰方式在開發時期恐怕不太適用，因為開發新技術的目的便是提高比值並降低成本。

另外我們也不能不考慮到推動生質燃料可能對食物生產造成排擠作用的問題，聯合國食物專家一再提出警告，世界人口膨脹壓力嚴重，不到二三十年，全球人口將超過 100 億，食物短缺問題只會與時俱增，現在生質燃料只供應不到幾%燃料需求，全球食物價格已經不斷上揚，世界各地雨林也被大量砍伐，自然環境遭到破壞，一旦大量生產生質燃料，後果不堪設想。2007 年 12 月在印尼巴厘召開的 IPCC 會議，很多人認為先進工業國家製造的地面暖化，要由開發中國家來擔負其惡果是極端不公平的行為。還有把寶貴的食物或生產食物的耕地，浪費在生產汽車使用的生質燃料供大家濫用，是「crime against humanity，喪失人性的罪行」。生質燃料如果能釀造自非食物纖維質、木屑或動植物廢棄物，則另當別論，但原料來源可能嚴重受限。總之生質酒精和柴油可以大量取代汽油的想法已經受到嚴重挑戰。

風能：自從有歷史，人類就知道如何利用風能，帆船和風車便是好例子，風能發電可能源自美國中西部偏遠地區，但現在使用最多的國家卻在歐洲。風能發電量還微不足道，只佔有全球發電量的 1% 左右，卻是再生能源中最被

看好的能源之一。大量使用風能發電最成功的國家是丹麥和德國，丹麥的 5600 座風能發電機（圖七）供應約 20 % 內需電力，剩餘還能外銷德國，而德國的約 5% 電力則來自風能發電機。現在世界上約有 26 個國家建置有風能發電機，每年成長率高達 30%。美國因為土地廣闊，適合風力發電的風場特別豐富，雖然起步較晚，但在丹麥等國的合作下，發電量在短短幾年已經趕上各國。德州西部已建置的一萬座風能發電機可供應幾十萬居民用電。



圖七、丹麥5600 風能發電機供應國內20% 能量，還有部分電力賣給德國，且創造新產業，生產風能發電機90% 外銷。

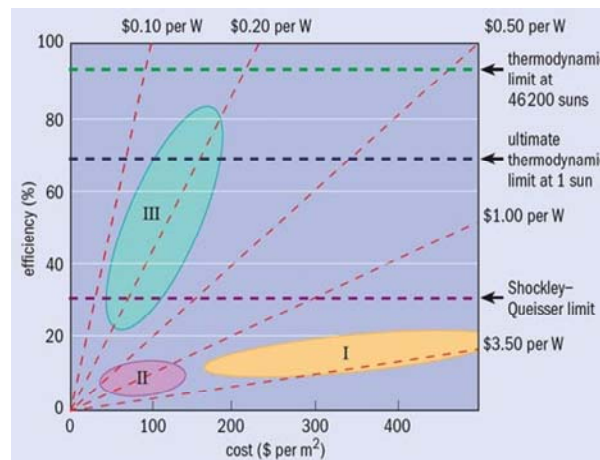
風能發電可說是最乾淨的再生能源，只要地球有季節變化，太陽熱能便會製造風流可供發電，而且風能不會排放任何溫室氣體或污染氣體與水。風能最大的缺點來自季節性、區域性、時段性和缺乏穩定性，如果沒有其他主要電源的配合，很難供應穩定可靠的電力。風能電力當然可以連接全國電力供應網，和水力發電相互配合，利用提高水位儲蓄風能，但是每次轉換，能量損失約 1/3。另外適合的風場位置往往在大海沿岸或偏遠山區，離人口和用電密集都市甚遠，電力傳輸不只設施昂貴，照樣會損失大量電能。其實適合風力發電的風場也很有限，舉德國為例，現在只供應 5% 左右電力，為了實現在 2020 年達到再生能源比重 20% 的目標，已經面臨找不到風場的困境。

風能發電的大量使用還有不少困難必須克服，附近居民抱怨噪音問題能否解決，有待發電機刀片的新設計；景觀的破壞則見仁見智，有些人大力反對自然景觀的消失，以綠色環保自傲的瑞典人則把風能發電機看成人類進步的象徵。在十九世紀電力開始普及初期，有些藝術家喜歡以排列整齊的電線桿做為背景，但現代大都市無不花費大量經費，將剪不斷理還亂的電線電纜埋入地下。也許初期民眾還會以新奇的眼光看待成千成萬的風能發電機，遲早它們必然是大家的眼中釘。至於大量建置大型風能發電機對自然生態會造成何種影響，現在討論可能還太早。

薄膜太陽電池：另一被看好的再生能源是半導體薄膜太陽電池（圖八），美國核能工業所做民調發現，1000 名美國人有 270 人看好的是太陽能。太陽能取之不盡用之不竭，五十年前科學家已經知道太陽能的重要性，開始研發太陽能設備。但時至今日美國太陽能發電仍只佔有全國電力的 0.01%，美國能源署官員估計半世紀後，太陽發電佔有率也只有 2 至 3%（這預測絕對太保守）。可惜以往各國政府誤認為太陽熱裝置和薄膜太陽電池科技已經成熟，而價格的降低和發電效率的提高應屬於業界責任而未大量投資研發，因此也造成業界的不確定感，不願意冒險投資設廠，不過這種誤解最近已經有所改正。

薄膜太陽電池效率持續提高，利用奈米科技的新多層膜與多重反射設計使太陽電池效率提高到 40%，另透過反射鏡聚焦，太陽熱發電技術也開始見到曙光。在德、日政府有利能源政策下太陽能產業快速成長，以德國為例，2005

年太陽能產業雇用人員達 3 萬人，產值超過 1200 億台幣，估計 15 年內人員會增至 20 萬人，產值將接近 1 兆元。到現在美國太陽能的推動主要來自州政府，加州不久前通過百萬太陽能屋頂計畫便是最好的例子，以色列也正在中東沙漠上興建足以供應四十萬居民使用的太陽能電池田。科學家也開發出可以捲曲、便宜且易用的有機薄膜太陽電池，總之追求太陽能熱度儼然已經成為全球的新另類淘金熱。



圖八、區域 I 代表矽晶半導體薄膜太陽電池發電效率與價格（美金）變動範圍，區域 II 為非晶體和複合半導體材料薄膜，而區域 III 則為利用奈米科技改進的太陽能板。

陽光與風一樣隨時間、季節、氣候和地理環境有大幅度變化，太陽能能否普及將有賴於能量儲存與轉換技術的重大突破。布希政府和美國國會有鑑於此，已經擬定計畫提高太陽能科技的研發經費，預計 2008 至 2012 年間會投資 370 億美金。半導體製造工業王國的台灣已經有數家公司投入太陽電池生產行列，他們能否對國內電力供應有所助益，能否在龐大的全球太陽能產業搶到商機，都有賴政府健全能源政策的制訂。很多人認為台灣土地昂貴，無法開發大面積太陽電池田，這問題其實不難解決，我們可以利用所有屋頂，並在公路加蓋薄膜太陽電池，甚至於沿海海面也都可加以利用。

2.3、其他能源

各種再生與替代能源：前面已經提到大規模找尋再生能源和替代能源是最近十幾二十年來科學家意識到地面暖化以後的事。只要科學家想得通的，即使有些方法還不切實際，政府或企業財團都會加以資助，這裡只能以一兩句話簡短描述其他正在被追求的科技。二氧化碳回收與深埋技術不只成本昂貴，把回收二氧化碳注入岩層中或溶解到幾千公尺深海中，安全絕對堪慮。我們現在處理液態與固態核廢料尚且必須顧慮因天災地變，如地震等，可能造成的災害，氣態的二氧化碳更加難於應付。而且有派科學家不是認為一兩百年來大氣中 CO_2 含量的異常增加是因海水溫度上升釋放出來的嗎，有一天地面溫度加速上升，溶解海水中的 CO_2 重新釋放大氣中，雪上加霜，後果不堪設想。

光合作用綠藻植物的培養，筆者很難想像有那麼多湖泊面積，培植到足以供應幾%能量而不破壞自然生態。氫氣經濟與燃料電池遭遇到的困難在於氫氣並不是能源，而只是能源的轉換媒介而已，至今利用陽光分解水成為氫氣的科技還見不到陽光，氫氣的儲藏技術也沒法解決。燃料電池的使用價值有賴廉價氫氣或含氫化合物的供應，只要燃料來源有問題，燃料電池技術就無法派上用場，況且燃料電池的能量轉換又無端損失部分能量。海浪與海流

發電科技正在開發，筆者可預見的困難，除了穩定性和可靠性外，還是離開用電密集地區太遠，而且大量使用時必然會對航海造成困擾。

替代能源：替代能源也是應有盡有，各種核能、海潮能、地熱能等；深海可燃的碳氫化合物的探測與開採只能算多了一種石化能源。海潮與地熱能都屬於利用天體與地球本身的能量。海潮能所受限制與上述海浪與海流能類似，地熱能則嚴重受到地域的限制，在台灣許多地熱能豐富地區接近大都市，地熱能的確有開採價值。深海可燃碳氫化合物的開採如果成功當然可以減輕對石油和天然氣的依賴，但是不要忘了，這種能源雖然比石油或煤炭乾淨很多，但終究是一種石化能源，對於推動減碳目標毫無幫助，反而因為又找到新的蘊藏石化能源，使民眾更加沒有節制的使用，把地面暖化問題加倍嚴重化。考慮各種因素，到後來最可靠也是最主要的替代能源還是核能。

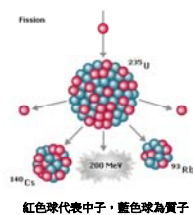
核能：

核分裂式

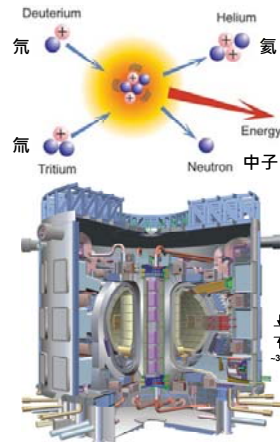
傳統式 (^{235}U ·鈾)

滋生式 (^{239}Pu ·鈾)

融核式：國際ITER計畫



圖九、各種核能示意圖



興建中的國際ITER融核實驗站

核能：核能可來自核子分裂反應和融核反應（圖九），前者的反應爐又有傳統式與滋生式之分，傳統式利用經過提煉的或自然的鈾 235 為燃料（新第四代核能電爐可直接使用自然鈾為燃料），而後者則反應爐在反應作用中會自行補充作用所需之燃料，鈾 239；惟因其燃料可做為核武原料，屬於高度軍事機密。融核反應爐所用燃料為氫、氘或氚，融核反應雖然是太陽和星球能量來源，但必須在極度高溫和密度下才能產生，因此幾十年來研究仍無法達到臨界、穩定作用狀態；歐、美、韓、日、印、中、蘇七國正在法國南部興建的 10 年 100 億美金的國際融核實驗站（ITER），即使如期建造完成也只是用來做基礎研究，離實際發電至少二三十年。從人造溫室氣體造成地面暖化觀點來考量，核能不會排放溫室氣體，但是會製造輻射廢料，也會釋放大量額外熱能。核能不受京都議定書的規範，但是必須接受更加嚴格的國際原子能總署的管制。

在推動原子能的和平用途上，核能發電廠發展於 1950-60 年間，現在全球 20% 電能來自核能發電。利用核能最多的國家是法國，核能供應 80% 電力，其他國家如瑞典 40%，日本和韓國 30 多%，美國、台灣、印度、中國都在 20% 上下。1960-70 年代核能以廉價做號召，成長很快，但是 1979 年 3 月 28 日美國賓州三哩島核能廠和 1986 年 4 月 26 日前蘇聯烏克蘭車諾堡核能廠發生的意外，加上本來民眾就對核能與核子武器有恐懼聯想，以及克服民眾反核運動所需付出成本太高，逼使全球核能廠開發（法國例外）限於停頓。

核能安全一直是民眾的最大顧慮，三哩島意外的確是核能發電的分水嶺，民眾意識到核能並非如同擁核能者的宣傳全無害處，但是此意外沒有造成任何工作人員或附近居民的傷亡，估計也沒有因輻射污染而造成額外癌症患者。

根據國際原子能總署和 WHO 調查，車諾堡事件有約 50 人直接死亡，33.6 萬人受到強制疏散，另外 6 百多萬人受到輻射影響，估計產生約 4000 名額外癌症患者死亡。調查也顯示這兩次意外都屬於人為疏失，筆者認為老舊的反應爐設計無法排除很難避免的偶發人為疏失才是意外主因。在核能安全，各種新第三代核能廠的設計，包括計畫 2009 年在芬蘭 Olkiluoto 建造完成的，用地心引力和自動冷卻等自然力量來預防人為疏失的第三代核子反應爐，發生意外機率幾乎等於零，而且估計輻射廢料數量也可大幅減少。現在中國、印度、墨西哥、南韓等國都在建造新核能發電廠；美國也有很多申請案，但是阻力不小，會不會真正興建還很難預料。台灣，考慮到必須面對的減碳壓力和能源需求與安全，核四應該儘速興建完成，至於新建核能廠則必須先取得全民共識才可考慮。

3、節能科技與習性

再生能源的推動效果緩慢，即使最為積極的歐盟也只要求在 2020 年達到 20% 的轉換目標，能否達成還有問題，其他國家更不用說。台灣推動再生能源非常保守，到 2020 年恐怕也只能有不到 5% 的再生能源。況且再生能源也不是不用花錢的午餐，它的生產和使用都得付出相當代價。俗語說節省一塊錢就是多賺一塊錢，代價最低的減碳法是發展節能科技和養成節能習性。我們不妨想一想節能科技的效益，1960-70 年代，美國生產汽車平均用油哩程每加侖不到 12 哩左右，雖然車商一再阻擋，在政府強制推動下現在已經進步到 23 哩，改進至少 70%，日本車子的平均哩程則在三十哩上下，改進 100% 以上。再舉微波爐為例，它比一般電爐至少省 70% 電力，使用起來也非常方便。我們習慣用的鎢絲電燈發光效率非常低，同樣亮度，最近生產的緊密型日光燈用電量只需 25% 左右（惟最近發現其紫外光可能會致癌），LED 可能更省電。政府只要鼓勵企業開發並規勸民眾使用高能量效率家電，也教育民眾節省資源習性如使用公車和拉近居家、學校與工作場所距離等，不必太大投資就很容易在幾年內達成節省 20% 能源的效果。從台灣產業發展前途著想，開發節省能源產品也是進軍全球能源產業的最佳途徑。宣導民眾瞭解節能的方法，並讓他們認識其重要性，培養他們節能習性是政府的最佳能源策略，也是國家和個人省錢的好方法。

4、結論

地球表面暖化現象受到國際注意是十幾二十年來的事，溫室效應理論促使各國積極尋找和開發再生能源與替代能源，IPCC 也在 1997 年制訂京都議定書，依照國家開發狀況，規範在 2008 與 2012 年間的平均釋碳量要比 1990 年減少數%到 10% 範圍。議定書在 2005 年 2 月 141 國簽訂後正式生效，可惜排放碳量最多國家，美、中、印三國並沒有簽署；議定書也未制訂罰則，沒有真正法律約束力，效果在於喚醒國際注意地面暖化問題，並以輿論壓力逼使大家遵守。今年 IPCC 開始討論 2012 年京都議定書到期後，訂定更加嚴格的新議定書，要在 2020 年達成比 1990 年少 30 至 40% 的減碳目標，能否實現仍有待觀察。

政府在選擇新能源科技的補助和開發與能源政策的制訂上，聯合國跨政府氣候組織（IPCC）主席 R. K. Pachauri 的名言令人深思。他說「社會可有兩種抉擇：一、以全面崩潰暴露出既有社會制度的弊病，被扭曲的價值觀和自我欺騙...，或二、社會有自我修正和平衡的機制，可改正制度缺陷和被扭曲的價值觀，以避免全面崩盤的厄運」。再生能源科技還在探試階段，科技知識日新月異，政府制訂能源政策不能太過僵硬，不要有本位主義，要能隨時調整並趕在時代最新科技知識的前端。